

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11)

**EP 1 111 230 A2**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
27.06.2001 Patentblatt 2001/26

(51) Int Cl.7: **F02M 51/06, F02M 61/08**

(21) Anmeldenummer: **00127847.2**

(22) Anmeldetag: **19.12.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK RO SI**

(30) Priorität: **22.12.1999 DE 19962177**

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT  
80333 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Gottlieb, Bernhard, Dr.  
81739 München (DE)**  
• **Kappel, Andreas, Dr.  
85649 Brunnthal (DE)**  
• **Mock, Randolph, Dr.  
85662 Hohenbrunn (DE)**  
• **Fischer, Bernhard  
84513 Töging (DE)**

(54) **Hydraulische Vorrichtung zum Übertragen einer Aktorbewegung**

(57) Eine Vorrichtung zum Übertragen einer Bewegung eines Aktors (8) auf ein Stellglied weist ein erstes Kolbenelement (21), das fest mit dem Aktor (8) verbunden ist, und ein zweites Kolbenelement (23), das fest mit dem Stellglied (3) verbunden ist, auf, wobei zwischen dem ersten Kolbenelement und dem zweiten Kol-

benelement eine Hydraulikkammer (22) ausgebildet ist, und wobei eine Speicherkammer (24), die mit einer Hydraulikkammer über einen Drosselspalt (36) verbunden ist, einen druckbelasteten Speicherkammerbereich umfasst, dessen Bereichsgrenzen elastisch ausgebildet sind.

EP 1 111 230 A2

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine hydraulische Vorrichtung zum Übertragen einer Bewegung eines Aktors auf ein Stellglied gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, insbesondere zum Einsatz in einem Fluiddosierer. Eine solche Vorrichtung, im Weiteren auch als Übertragungselement bezeichnet, ist aus der DE 197 08 304 A1 bekannt.

[0002] In der Kraftfahrzeugtechnik werden zunehmend Speichereinspritzsysteme eingesetzt, bei denen mit sehr hohen Einspritzdrücken gearbeitet wird. Bei solchen z. B. unter der Bezeichnung "Common-Rail-Systeme" bekannten Einspritzsystemen wird Kraftstoff unter hohem Druck an in den Zylindern der Brennkraftmaschine angeordneten Einspritzventile angelegt. Der Einspritzvorgang in den Zylinder wird durch Öffnen und Schließen der Einspritzventile ausgelöst, wobei die Einspritzventile über Aktoren angesteuert werden, die nach dem elektromagnetischen und, um hohe Schaltgeschwindigkeiten zu erreichen, auch nach dem piezoelektrischen, elektrostriktiven oder magnetostriktiven Prinzip arbeiten. Die Aktoren in den Einspritzventilen betätigen dabei, ggf. unter Zwischenschaltung eines Servoventils eine Ventalnadel im Einspritzventil.

[0003] An ein serientaugliches Kraftstoffeinspritzventil werden insbesondere folgende Anforderungen gestellt:

[0004] Die Ventalnadel soll in dem Einspritzventil entweder unbelastet angeordnet sein oder mit einer druckabhängigen Kraft belastet werden. Falls ein steigender Kraftstoffdruck an der Ventalnadel anliegt, ist zu gewährleisten, dass die Ventalnadel zum Sicherstellen einer ausreichenden Dichtheit mit steigenden Kraftstoffdruck immer fester auf den Ventilsitz gepresst wird.

[0005] Weiterhin soll das Einspritzventil unempfindlich gegen thermische oder druckinduzierte Längendehnungen sein. Auch soll die Funktionsfähigkeit des Einspritzventils nicht durch Setzeffekte, die z. B. durch Alterungsprozesse des Aktors ausgelöst werden können, beeinträchtigt werden. Um Längenänderungen im Einspritzventil, die durch thermische, Druck- oder Setzeffekte hervorgerufen werden, zu verhindern, werden üblicherweise die Ventalnadel bzw. die weiteren Bauteile im Einspritzventil aus Spezialstählen gefertigt, die jedoch sehr kostspielig sind. Weiterhin ist es auch beim Einsatz solcher kostspieliger Spezialstähle notwendig, zwischen den einzelnen Bauteilen einen ausreichenden Abstand vorzusehen, um eventuelle Längendehnungen zwischen den Bauteilen aufnehmen zu können. Dieser notwendige Sicherheitsabstand von 3 µm bis 5 µm geht jedoch als nutzbarer Hub des Aktors verloren, was insbesondere beim Einsatz eines Piezo-Aktors, der nur einen kleinen Hub hervorbringt, zu Problemen beim Öffnen der Ventalnadel führen kann.

[0006] Um keinen Spalt zwischen den einzelnen Bauteilen im Einspritzventil vorsehen zu müssen, wird in der DE 197 08 304 A1 ein hydraulisches Übertragungsele-

ment vorgeschlagen, das die Auslenkung des Aktors im Einspritzventil auf einen Antriebsstempel des Servoventils bzw. einen Führungsschaft der Ventalnadel überträgt. Das hydraulische Übertragungselement ist dabei im Wesentlichen zylinderförmig ausgebildet und weist eine Hydraulikkammer auf, die von einer flexiblen Membran begrenzt ist. An der flexiblen Membran liegt der Antriebsstempel des Servoventils bzw. der Führungsschaft der Ventalnadel an. Von der Hydraulikkammer führt eine Verbindungsbohrung mit Drosselwirkung zu einer Speicherkammer, die im Inneren des Übertragungselement vorgesehen ist und durch eine vorgespannte Federplatte abgeschlossen wird. Über die Federplatte ist in der Hydraulikkammer eine starre Abdeckplatte angeordnet, die am Aktor des Einspritzventils anliegt. Die Hydraulikkammer und die Speicherkammer sind mit einem hydraulischen Medium gefüllt.

[0007] Im Ruhezustand wird über die Verbindungsbohrung der in der Speicherkammer herrschende Druck des hydraulischen Mediums auf die Hydraulikkammer übertragen, so dass die flexible Membran immer am Antriebsstempel des Servoventils bzw. am Führungsschaft der Ventalnadel anliegt, auch wenn sich aufgrund thermischer Effekte oder Alterungsprozesse Verschiebungen der Anordnung der einzelnen Komponenten im Kraftstoffeinspritzventil ergeben. Bei einer Betätigung des Aktors wird die Auslenkung dieses Aktors über das Übertragungselement im Wesentlichen unverändert auf den Antriebsstempel des Servoventils bzw. den Führungsschaft der Ventalnadel übertragen. Die Verbindungsbohrung zwischen der Hydraulikkammer und der Speicherkammer ist hierbei so ausgelegt, dass aufgrund der im Bereich von Millisekunden liegenden Ansteuerzeiten im Wesentlichen kein hydraulisches Medium aus der Hydraulikkammer in die Speicherkammer abfließen kann.

[0008] Das aus der DE 197 08 304 A1 bekannte Übertragungselement zeichnet sich jedoch durch einen komplizierten Aufbau aus. Weiterhin ist es mit diesem bekannten Übertragungselement schwierig, eine Temperaturkompensation über den gesamten Arbeitsbereich des Kraftstoffeinspritzventils von ca. -40°C bis +150°C zu gewährleisten. In diesem großen Temperaturbereich kann es zu einer Änderung des Volumens des im Übertragungselement eingesetzten hydraulischen Mediums von bis zu 20 % kommen. Eine solche große Volumenschwankung lässt sich jedoch nur sehr schwer von dem in der DE 197 08 304 A1 gewählten Aufbau bewältigen.

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine spielfreie hydraulische Vorrichtung zum Übertragen einer Bewegung eines Aktors auf ein Stellglied bereitzustellen, die sich durch eine große Zuverlässigkeit bei hohen Dauerbelastungen und starken Temperaturschwankungen auszeichnet.

[0010] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0011] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zeichnet sich durch ein Übertragungselement aus, das ein erstes Kolbenelement, das fest mit einem Aktor verbunden ist, und ein zweites Kolbenelement, das fest mit einem Stellglied verbunden ist, aufweist, wobei zwischen dem ersten Kolbenelement und dem zweiten Kolbenelement eine Hydraulikkammer ausgebildet ist, und wobei eine mit der Hydraulikkammer über einen Drosselspalt verbundene Speicherkammer einen druckbelasteten Bereich umfasst, dessen Bereichsgrenzen elastisch ausgebildet sind. Dieser Aufbau gewährleistet zuverlässig eine selbsttätige Kompensation großer Abstandsänderungen zwischen dem Aktor und dem Stellglied, die durch thermische Druck- oder Setzeffekte hervorgerufen werden können. Darüber hinaus wird durch die elastische Auslegung eines Speicherkammerbereiches gewährleistet, dass das Übertragungselement über einen weiten Temperaturbereich, insbesondere den gesamten Arbeitsbereich eines Kraftstoffeinspritzventils von ca. -40°C bis +150°C funktionsfähig bleibt. Das erfindungsgemäße Übertragungselement kann darüber hinaus sowohl in einem nach innen als auch nach außen sich öffnenden Kraftstoffeinspritzventil eingesetzt werden. Weiterhin zeichnet sich das Übertragungselement durch eine sehr kompakte Bauform, einen sehr hohen hydromechanischen Übertragungswirkungsgrad und hervorragende dynamische Übertragungseigenschaften aus, da nur eine sehr kleine Hydraulikkammer zwischen dem ersten und dem zweiten Kolbenelement benötigt wird.

[0012] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist der elastische Speicherkammerbereich durch eine Federbalganordnung, vorzugsweise bestehend aus Metallbälgen, begrenzt. Solche Metallbälge sind radial sehr steif, in axiale Richtung jedoch sehr weich ausgelegt und können somit zuverlässig Volumenänderungen in der im Übertragungselement enthaltenen Hydraulikflüssigkeit aufnehmen.

[0013] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird der Aktor von einem Federelement vorgespannt, das fest mit dem ersten Kolbenelement des Übertragungselements verbunden ist. Durch diese Ausgestaltung kann eine Rückstellfeder, die das Stellglied nach Ende der Ansteuerung des Aktors in seine Ausgangsstellung zurücksetzt, klein dimensioniert werden, da die Funktion der Rückstellfeder durch die Rückziehbewegung des Aktors, die über das Übertragungselement auf das Stellglied wirkt, unterstützt wird.

[0014] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann durch geeignete Wahl der Größenverhältnisse der druckwirksamen Flächen des ersten Kolbenelements und des zweiten Kolbenelements eine Hubübersetzung der Aktorbewegung auf das Stellglied erfolgen. Hierdurch wird erreicht, dass auch beim Einsatz eines Piezoelements als Aktor ein ausreichender Hub zum Betätigen des Stellgliedes erzeugt wird.

[0015] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein nach außen sich öffnendes Kraftstoffeinspritzventil mit einem erfindungsgemäßen hydraulischen Übertragungselement in einer ersten Ausführungsform;

Figur 2 ein nach innen sich öffnendes Kraftstoffeinspritzventil mit einem erfindungsgemäßen hydraulischen Übertragungselement in der ersten Ausführungsform; und

Figur 3 ein nach außen sich öffnendes Kraftstoffeinspritzventil mit einem erfindungsgemäßen hydraulischen Übertragungselement in einer zweiten Ausführungsform.

[0016] Das in Figur 1 gezeigte Kraftstoffeinspritzventil, das sich nach außen in einen Brennraum einer Brennkraftmaschine öffnet, wird mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff betrieben. Bei diesem Einspritzventil ist im oberen Teil eines Gehäuses 1 eine Antriebseinheit eingebaut, die als wesentliches Bauteil einen piezoelektrischen Multilayeraktor 8 in Niedervolttechnik aufweist. Dieser piezoelektrische Multilayeraktor 8 ist von einer Rohrfeder 9 umgeben, die zwischen einer Kopfplatte 10 und einer Fußplatte 11 eingeschweißt ist, wobei die Rohrfeder 9 so vorgespannt ist, dass der piezoelektrische Multilayeraktor 8 unter einer mechanischen Druckvorspannung steht. Das Gehäuse 1 ist weiterhin mit einer Fußplatte 11 der Antriebseinheit möglichst steif, vorzugsweise über eine Schweißnaht 12, verbunden.

[0017] Der piezoelektrische Multilayeraktor 8 wirkt, wenn er elektrisch über seine Zuleitungen 19 angesteuert wird, über ein hydraulisches Übertragungselement auf das hintere Ende einer Ventilnadel 3 ein. Die Ventilnadel 3 ist im vorderen Teil des Gehäuses 1 des Einspritzventils in einer durchgehenden Innenbohrung 30 angeordnet und verschließt im Ruhezustand mit einem am vorderen Ende der Ventilnadel 3 angeordneten Ventiltellers 4 einem Ventilsitz 2 am Gehäuse 1. Der geschlossene Ausgangszustand im Einspritzventil wird dabei durch eine vorgespannte Düsenfeder 5 gewährleistet, die mit der Ventilnadel 3 über einen Sprengring 6 verbunden ist und den Ventilteller 4 auf den Ventilsitz 2 drückt. Bei einer Ansteuerung des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 hebt die vom Übertragungselement auf das hintere Ende der Ventilnadel 3 übertragene Auslenkung den Ventilteller 4 vom Ventilsitz 2 ab, so dass Kraftstoff, der in eine Kraftstoffkammer 13 im Gehäuse 1 über eine Kraftstoffzuleitung 7 eingespeist wird, an der Ventilnadel 3 vorbei in den Brennraum der Brennkraftmaschine eingespritzt werden kann.

[0018] Da der Kraftstoff unter sehr hohem Druck in der Kraftstoffkammer 13 im Gehäuse 1 steht, muss dieser Bereich zuverlässig von den übrigen Bereichen im Gehäuse 1 des Einspritzventils, insbesondere von dem Antriebsbereich abgedichtet sein. Zur hermetisch dichten und axial sehr weichen Durchführung der Ventilna-

del 3 aus der Kraftstoffkammer 13 in den Bereich, in dem das Übertragungselement und das Antriebseinheit eingebaut sind, dient ein Metallbalg 15. An die Kraftstoffkammer 13 grenzt ein ringförmiger Absatz 14 an, der in die Innenbohrung 30 hineinragt. An der Ventilnadel 3 ist weiterhin ein ringförmiges Anschlussstück 16 angebracht. Zwischen dem Anschlussstück 16 an der Ventilnadel 3 und dem ringförmig umlaufenden Absatz 14 im Gehäuse 1 ist der parallel zur Ventilnadel 3 verlaufende Metallbalg 15 eingeschweißt, der zur hermetischen Abdichtung der Kraftstoffkammer 13 gegenüber den weiteren Gehäusebereichen, in denen sich die Antriebseinheit und das Übertragungselement befindet, dient. Weiterhin wird die Ventilnadel 3 durch den Metallbalg 15 gegen Verdrehen gesichert. Dies kann insbesondere dann von Vorteil sein, wenn ein hubbegrenzender Anschlag für die Ventilnadel 3 in das Kraftstoffeinspritzventil eingebaut ist.

[0019] Der Einsatz des Metallbalgs 15 zur Nadeldurchführung ermöglicht eine perfekte, dauerhafte und zuverlässige Abdichtung des Hochdruckbereichs im Einspritzventil gegenüber den übrigen Bereichen. Der Metallbalg 15 hält, wie Berechnungen und Versuche gezeigt haben, trotz geringer Wandstärken von bspw. 50 µm bis 500 µm aufgrund seiner hohen radialen Steifigkeit sehr hohen Drücken stand, ohne irreversibel verformt zu werden. Der Metallbalg 15 kann weiterhin so ausgelegt werden, dass durch eine hinreichende Anzahl von Wellen eine hohe axiale Nachgiebigkeit, d. h. geringe Federrate in Bewegungsrichtung der Ventilnadel 3 erreicht wird, um die Auslenkung der Ventilnadel 3 nicht zu beeinträchtigen und um die durch temperaturbedingte Längenänderungen der Nadeldurchführung in die Ventilnadel 3 eingeleiteten Kräfte so gering wie möglich zu halten. Weiterhin kann durch den Einsatz des Metallbalgs 15 in der Nadeldurchführung mit hoher Zuverlässigkeit eine Kraftstoffleckage verhindert werden.

[0020] Die Nadeldurchführung aus ringförmiger Absatz 14, Metallbalg 15 und Anschlussstück 16 kann weiterhin so ausgestaltet werden, dass die auf die Ventilnadel 3 wirkenden druckbedingten Kräfte sich gegenseitig kompensieren, so dass die Ventilnadel 3 insgesamt kraftfrei gehalten wird. Dies ermöglicht es, das Einspritzventil so auszulegen, dass ein vom Kraftstoffdruck nahezu unabhängiges Schaltverhalten möglich wird, da die Öffnungs- und Schließkräfte dann allein vom piezoelektrischen Multilayeraktor 8 und der Kraft der vorgespannten Düsenfeder 5 bestimmt werden.

[0021] Andererseits kann die aus dem ringförmigen Absatz 14, dem Metallbalg 15 und dem Anschlussstück 16 gebildete Ventilnadeldurchführung auch so ausgelegt werden, dass sich eine mit steigendem Kraftstoffdruck in der Kraftstoffkammer 13 zunehmende Kraft ergibt, mit welcher der Ventilteller 4 in den Ventilsitz 2 gedrückt wird. Durch Wahl des hydraulischen Durchmessers, der durch den Absatz 14, den Metallbalg 15 und das Anschlussstück 16 festgelegt ist, besteht somit die

Möglichkeit, die Ventilnadel 3 des Injektors in der gewünschten Weise druckkräftemäßig, d. h. völlig druckkräftefrei, überkompensiert oder unterkompensiert zu halten.

5 [0022] Der Metallbalg 15 verfügt weiterhin aufgrund seines metallischen Werkstoffes über einen weiten Arbeitstemperaturbereich mit gleichbleibender Funktionsfähigkeit. Die thermischen Längenänderungen des Metallbalgs 15 selbst führen aufgrund der niedrigen axialen Federkonstante des Metallbalgs 15 nur zu einer vernachlässigbar geringen Krafteinleitung in die Ventilnadel 3 in axialer Richtung. Der Metallbalg 15 kann darüber hinaus aufgrund seiner mechanischen Federwirkung in axialer Richtung auch die Düsenfeder 5 teilweise oder vollständig ersetzen.

15 [0023] Um den Hub des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 auf die Ventilnadel 3 zu übertragen, ist das Übertragungselement zwischen der Antriebseinheit und der Ventilnadel 3 vorgesehen. Dieses Übertragungselement dient dabei primär als hydraulisches Spielausgleichselement, um jegliches Spiel zwischen dem piezoelektrischen Multilayeraktor 8 und der Ventilnadel 3 auszuschließen. Weiterhin kann mit dem Übertragungselement eine Hubübersetzung erfolgen.

25 [0024] Das Übertragungselement weist einen Primärkolben 21 und einen Sekundärkolben 23 auf, die in einem an den ringförmigen Absatz 14 im Gehäuse 1 angrenzenden Bohrungsabschnitt angeordnet sind. Dieser Bohrungsabschnitt ist zweistufig ausgebildet, mit einem ersten, sich an die Antriebseinheit anschließenden breiteren Bohrungsabschnitt 31, in dem der Primärkolben 21 sitzt und einem zweiten schmäleren Bohrungsabschnitt 32, der an den Anschlag 14 im Gehäuse 1 angrenzt und in dem der Sekundärkolben 23 angeordnet ist. Der Primärkolben 21 ist im Wesentlichen zylindrisch ausgebildet und an der Kopfplatte 10 der Antriebseinheit angebracht oder bevorzugt fest über eine Verschweißung mit dieser verbunden. Vorzugsweise bestehen die Kopfplatte 10 und der Primärkolben aus einem Teil. Der Sekundärkolben 23 ist als Hohlzylinder ausgebildet und auf das hintere Ende der Ventilnadel 3 aufgesteckt, wobei die dem Primärkolben 21 zugewandte Stirnfläche des Sekundärkolbens 23 im Wesentlichen plan zur Endfläche der Ventilnadel 3 angeordnet ist. Die Ventilnadel 3 und der Sekundärkolben 23 sind ebenfalls bevorzugt über eine Verschweißung fest, zumindest aber spielfrei und mechanisch möglichst steif miteinander verbunden.

40 [0025] Der Primärkolben 21 und der Sekundärkolben 23 sind weiterhin so voneinander beabstandet, dass zwischen den sich gegenüberliegenden Stirnflächen im Bereich des Übergangs vom ersten Bohrungsabschnitt 31 zum zweiten Bohrungsabschnitt 32 eine Hydraulikkammer 22 ausgebildet ist. Weiterhin ist im Übertragungselement eine zweiteilige Speicherkammer 24 vorgesehen, die einen ersten Speicherkammerbereich 241 in der Innenbohrung 30 aufweist, der durch die untere Stirnfläche des Sekundärkolbens 23 und durch das An-

schlussstück 16 des Metallbalges 15 an der Ventilnadel 3 begrenzt wird. Dieser erste Speicherkammerbereich 241 ist über eine im Gehäuse 1 ausgebildete ungedrosselte Verbindungsbohrung 223 an einen zweiten Speicherkammerbereich 242 angeschlossen, der in den ersten Bohrungsabschnitt 31 angrenzenden Gehäusebereich 34 um die Antriebseinheit herum angeordnet ist. Der zweite Speicherkammerbereich 242 wird durch zwei konzentrisch zueinander angeordnete Federbälge 25, 26 und einem Druckring 27 begrenzt, der wiederum von einer Druckfeder 28 gehalten wird, die an einer Lochplatte 29 im Gehäusebereich 34 abgestützt ist. Der innenliegende Federbalg 25 ist dabei zwischen die Innenseite des Druckrings 27 und der hinteren Stirnfläche des Primärkolbens 21, die aus dem ersten Bohrungsabschnitt 31 heraussteht, eingeschweißt. Der außenliegende Federbalg 26 ist an die Außenseite des Druckrings 27 und an eine an den ersten Bohrungsabschnitt 31 angrenzende Gehäusestufe 30 angeschweißt. In der Gehäusestufe 30 zwischen den beiden Federbälgen 25, 26 mündet die Verbindungsbohrung 223.

**[0026]** Die Hydraulikkammer 22 und die Speicherkammer 24 stehen über einen Drosselspalt 36, der zwischen der Umfangswandung des Sekundärkolbens 23 und der Innenwandung des zweiten Bohrungsabschnitts 32 ausgebildet ist, und über einen Drosselspalt 37, der zwischen der Umfangswandung des Primärkolbens 21 und der Innenwandung des ersten Bohrungsabschnitts 31 ausgebildet ist, miteinander in Verbindung. Weiterhin ist der gesamte Innenraum des Übertragungselements mit einer Hydraulikflüssigkeit gefüllt, die unter einem geringen Überdruck steht, der durch die Druckfeder 28 erzeugt wird, die über den Druckring 27 den zweiten Speicherkammerbereich 242 beaufschlagt. Vor dem Befüllen des Innenraums des Übertragungselements mit Hydraulikflüssigkeit wird diese Hydraulikflüssigkeit entgast, um eventuell vorhandene Gasbläschen in der Flüssigkeit aufzulösen.

**[0027]** Das Einspritzventil mit dem Übertragungselement arbeitet wie folgt:

**[0028]** Zur Einleitung des Einspritzvorgangs wird der piezoelektrische Multilayeraktor 8 über die elektrischen Zuleitungen 19 geladen. Dies bewirkt, dass der piezoelektrische Multilayeraktor 8 sich axial auslenkt und über die Kopfplatte 10 den Primärkolben 21 nach unten in den ersten Bohrungsabschnitt 31 hinein schiebt.

**[0029]** Beim Übertragungselement sind der Drosselspalt 36 am Sekundärkolben 23 und der Drosselspalt 37 am Primärkolben 21, die eine Verbindung zwischen der Hydraulikkammer 22 und der Speicherkammer 24 herstellen, so dimensioniert, dass während der typischen Ansteuerzeiten des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 von 1 bis 5 ms nur ein verschwindend geringer Austausch von Hydraulikflüssigkeit zwischen der Hydraulikkammer 22 und der Speicherkammer 24 stattfinden kann. Dies bedeutet, dass das Volumen der Hydraulikflüssigkeit während der Einspritzzeit nur durch die Kompressibilität der Hydraulikflüssigkeit bestimmt

ist, und die Hydraulikkammer 22 somit als steifer Kolben betrachtet werden kann. Die Federkonstante  $c$  der Hydraulikkammer 22 lässt sich dabei wie folgt abschätzen.

$$\kappa = -1/V \cdot \delta \text{ und } V = A \cdot h \Rightarrow dP = -1/(\kappa V) \cdot A \cdot dh$$

$\kappa$ : Kompressibilität der Hydraulikflüssigkeit

$V$ : Volumen der Hydraulikkammer

$P$ : Druck

$A$ : Querschnittsfläche der Hydraulikkammer

$h$ : Höhe der Hydraulikkammer

mit

$$dF = dP/A \Rightarrow dF = -1/(\kappa V) A^2 dh$$

$F$ : Kraft

ergibt sich

$$c = -dF/dh \Rightarrow c = A/(\kappa h)$$

**[0030]** Die obige Gleichung zeigt, dass die Federkonstante  $c$  der Hydraulikkammer 22 um so größer ist, je geringer deren Höhe und je größer deren wirksame Querschnittsfläche ist. Simulationsrechnungen haben weiterhin gezeigt, dass mit thermischen und druckinduzierten Ausdehnungen von maximal 50  $\mu\text{m}$  zu rechnen ist. Um die Hydraulikkammer 22 als steifen Kolben betrachten zu können, sollte die Federkonstante  $c$  der Hydraulikkammer 22 im Bereich von  $10^8 \text{ N/m}$  oder höher liegen. Dies heißt, dass, unter der Annahme, dass die Kompressibilität der Hydraulikflüssigkeit  $\kappa$  ca.  $10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$  ist, was einem typischen Wert für eine Hydraulikflüssigkeit entspricht, der gewünschte Wert für die Federkonstante  $c$  z. B. mit einer Querschnittsfläche von 1  $\text{cm}^2$  und einer Höhe von 0,1 cm erreicht werden kann. Die genaue Auslegung der Höhe und Querschnittsfläche der Hydraulikkammer 22 kann jedoch jeweils an die Gegebenheiten im Einspritzventil angepasst werden, um eine kompakte Bauform zu erreichen.

**[0031]** Durch die Auslegung der Hydraulikkammer 22 als steifer Kolben wird die Bewegung des Primärkolbens 21, die vom piezoelektrischen Multilayeraktor 8 ausgelöst wird, verlustarm direkt auf den Sekundärkolben 23 übertragen. Die Bewegung des Sekundärkolbens 23 wird dabei nur geringfügig von der sich im ersten Speicherkammerbereich 241 befindenden Hydraulikflüssigkeit gedämpft, da die überschüssige Hydraulikflüssigkeit aufgrund des schnellen Druckanstiegs im ersten Speicherkammerbereich 241 über die ungedrosselte Verbindungsbohrung 223 in den zweiten Speicherkammerbereich 242 weggedrückt wird. Die beiden konzentrisch zueinander angeordneten Federbälge 25, 26, die den zweiten Speicherkammerbereich 242 begrenzen, sind radial sehr steif, in axiale Richtung jedoch sehr

weich ausgelegt. Bevorzugt werden dabei als Federbälge Metallbälge eingesetzt, die im Wesentlichen dem Metallbalg 15 der Nadeldurchführung entsprechen. An dieser Stelle ist aber ebenso der Einsatz elastomerer Werkstoffe für die Federbälge 25, 26 möglich. Wenn Hydraulikflüssigkeit vom ersten Speicherkammerbereich 241 über die Verbindungsbohrung 223 in den zweiten Speicherkammerbereich 242 gedrückt wird, dehnt sich der zweite Speicherkammerbereich 242 gegen die Haltekraft der auf dem Druckring 27 lastenden Druckfeder 28 axial in Richtung auf die Fußplatte 11 der Antriebseinheit aus.

**[0032]** Die vom Primärkolben 21 ausgelöste Bewegung des Sekundärkolbens 23 verschiebt die mit dem Sekundärkolben 23 verbundene Ventilnadel 3 gegen die Rückstellkraft der Düsenfeder 5 nach unten, so dass der Ventilteller 4 vom Ventilsitz 2 abhebt und das Einspritzventil sich öffnet. Die Längendehnung des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 wird dabei in eine Verschiebung des Sekundärkolbens 23 und damit der Ventilnadel 3 übersetzt, die dem Verhältnis der druckwirksamen Flächen des Primärkolbens 21 und des Sekundärkolbens 23 in der Hydraulikkammer 22 entspricht. Durch geeignete Abstimmung der Primärkolbenfläche zur Sekundärkolbenfläche lässt sich also z. B. eine Vergrößerung des Hubs des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 in Bezug auf den Hub der Ventilnadel 3 einstellen. Hierdurch kann zuverlässig gewährleistet werden, dass der extrem kurze Hub des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 bei allen Betriebsbedingungen des Einspritzventils ausreicht, die Ventilnadel 3 zu öffnen.

**[0033]** Der Einspritzvorgang wird beendet, indem der piezoelektrische Multilayeraktor 8 über die elektrischen Zuleitungen 19 wieder entladen wird. Hierdurch verkürzt sich der piezoelektrische Multilayeraktor 8 auf seine Ausgangslänge, wobei die Rohrfeder 9 verhindert, dass die Piezo-Keramik durch Massenträgheitseffekte beim Kontrahieren unter Zugspannung gerät. Da der Primärkolben 21 über die Kopfplatte 10 fest mit der Antriebseinheit verbunden ist, wird durch die Kontraktion des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 auch der Primärkolben 21 aus dem ersten Bohrungsabschnitt 31 zurückgezogen. Hierdurch entsteht in der Hydraulikkammer 22 kurzzeitig eine Druckabsenkung, die aufgrund der extrem kurzen Schaltzeiten des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 und dem kleindimensionierten Drosselspalt 36 am Sekundärkolben 23 nicht durch Nachfließen von Hydraulikflüssigkeit aus der Speicherkammer 24 über die Drosselspalte 36, 37 sofort ausgeglichen werden kann. Diese Druckabsenkung in der Hydraulikkammer 22 gegenüber dem im der Speicherkammer 24 anstehenden Druck führt zu einer Druckdifferenz, die über der der Hydraulikkammer zugewandten Seite des Sekundärkolbens 23 und der dem ersten Speicherkammerbereich 241 zugewandten Seite des Sekundärkolbens 23 abfällt. Hierdurch wird die Rückstellung der Ventilnadel 3 durch die Düsenfeder 5 unterstützt, so dass ein schnelles Schließen des Einspritzventils er-

reicht wird, was sich günstig auf den Verbrennungsverlauf auswirkt.

**[0034]** Durch die erfindungsgemäße Auslegung des Übertragungselementes ist es weiterhin möglich, selbsttätig alle thermischen, durch Setzeffekte der Antriebseinheit oder hervorgerufenen druckbedingten Längenänderungen im Einspritzventil auszugleichen. Längt sich z. B. die Ventilnadel 3 aufgrund thermischer oder druckbedingter Ausdehnung in Bezug auf das Gehäuse 1 des Einspritzventils, wird der Sekundärkolben 23 nach oben in den zweiten Bohrungsabschnitt 32 hineingezogen. Der Drosselspalt 36 am Sekundärkolben 23 ist weiterhin so ausgelegt, dass sich während der thermischen Vorgänge, die zeitlich im Bereich von einigen Sekunden bis Minuten liegen, Hydraulikflüssigkeit über die Drosselspalte 36, 37 zwischen der Speicherkammer 24 und der Hydraulikkammer 22 ausgetauscht werden kann. Wenn der Sekundärkolben 23 sich also aufgrund der thermischen Vorgänge in den zweiten Bohrungsabschnitt 32 verschiebt, fließt Hydraulikflüssigkeit so lange aus der Hydraulikkammer 22 über die Drosselspalte 36, 37 in die Speicherkammer 24, bis sich in der Hydraulikkammer 22 und in der Speicherkammer 24 wieder ein Druckgleichgewicht einstellt. Der Längenausgleich wird dabei ausschließlich durch die Höhe der Hydraulikkammer 22 begrenzt.

**[0035]** Für eine zuverlässige Funktion des Übertragungselements ist insbesondere eine hermetische Abdichtung der Hydraulikflüssigkeit gegenüber der Kraftstoffkammer bzw. der Antriebseinheit erforderlich. Es ergeben sich so hohe Anforderungen an die Federbälge 25, 26, die deshalb vorzugsweise als Metallbälge ausgebildet sind. Diese Metallbälge sind wellenförmig ausgebildet, da hierdurch ein sehr kleine axiale Federkonstante erreicht werden kann. Die axiale Deformation des Metallbalges durch eine Druckbelastung ist zwar durchaus nicht gering, hebt sich aber, genau wie die auf die einzelnen Balgwellen wirkenden Kräfte, in ihrer Summe über die Gesamtlänge des Metallbalges nahezu auf. Als besonders günstige Form für die Balgwellen hat sich eine, im Längsschnitt betrachtet, aus aneinandergesetzten Halbkreissegmenten mit geraden Zwischenstücken bestehende Geometrie erwiesen. Gegenüber einem sinusförmigen Wellenverlauf weisen die aus Halbkreissegmenten bestehenden Wandungen geringere mechanische Spannungen in axiale Richtung bei höherer axialer Nachgiebigkeit auf.

**[0036]** Die Hydraulikflüssigkeit in der Hydraulikkammer 22 und der Speicherkammer 24 steht, wie dargestellt, unter einem geringen Überdruck, der durch die Druckfeder 28 erzeugt wird, die den Druckring 27 des zweiten Speicherkammerbereichs 242 beaufschlagt. Durch diesen geringen Überdruck bei gleichzeitig blasenfreien Einfüllen der Hydraulikflüssigkeit in das Übertragungselement wird gewährleistet, dass die schnellen Schaltvorgänge des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 nicht zu Kavitationen in der Hydraulikflüssigkeit führen. Die Druckfeder 28 kann alternativ auch teilweise

oder ganz durch eine Federwirkung der Federbälge 25, 26 ersetzt werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Drosselspalte 36, 37 jeweils nur am Sekundärkolben 23 oder am Primärkolben 21 vorzusehen, so dass ein Austausch von Hydraulikflüssigkeit zwischen einem der Speicherkammerbereiche 241, 242 und der Hydraulikkammer 22 erfolgt. Es können jedoch auch Drosselspalte am Primärkolben 21 und am Sekundärkolben 23 vorgesehen sein.

[0037] In Figur 1 ist ein nach außen sich öffnendes Einspritzventil dargestellt. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, das erfindungsgemäße Übertragungselement bei einem nach innen sich öffnenden Einspritzventil einzusetzen. Wie in Figur 2 gezeigt ist, wird dann die Ventalnadel 3 von der Düsenfeder 5 statt unter Zugspannung unter Druckspannung gesetzt, so dass die Ventalnadel 3 im Ruhezustand mit einer konischen Nadelspitze 104 auf einen konischen Ventilsitz 102 im Einspritzventil aufsitzt, unterhalb dem ein Einspritzloch 103 zum Einspritzen von Kraftstoff in die Brennkraftmaschine ausgebildet ist.

[0038] Das in Figur 2 gezeigte Einspritzventil wird genau gegenläufig zu dem in Figur 1 gezeigten Einspritzventil betrieben. Aus Sicherheitsgründen ist das Einspritzventil dabei so ausgelegt, dass bei nicht angesteuerten piezoelektrischen Multilayeraktor 8 das Einspritzventil geschlossen ist, d. h. die Nadelspitze 102 gegen den Ventilsitz 104 gedrückt wird.

[0039] Beim Start der Brennkraftmaschine wird dann gleichzeitig der piezoelektrische Multilayeraktor 8 angesteuert. Dieser längt sich und schiebt dadurch den Primärkolben 21 in den ersten Bohrungsabschnitt 31. Der sich dadurch ergebende Druckanstieg in der Hydraulikkammer 22 wird über den Drosselspalt 36 am Sekundärkolben 23 und dem Drosselspalt 37 am Primärkolben 21, die für einen Austausch von Hydraulikflüssigkeit mit der Speicherkammer 24 sorgen, ausgeglichen. Hierdurch stellt sich dann innerhalb von Sekundenbruchteilen wieder ein Gleichgewichtszustand ein, bei dem das Einspritzventil weiterhin geschlossen bleibt. Das Einspritzventil wird so betrieben, dass die Ventalnadel 3 sich immer dann öffnet, wenn der piezoelektrische Multilayeraktor 8 entladen wird und sich dadurch der Primärkolben 21 und damit auch der Sekundärkolben 23, an dem die Ventalnadel 3 befestigt ist, zurückziehen.

[0040] Figur 3 zeigt eine weitere Ausführungsform eines sich nach außen öffnenden Einspritzventils, bei der der Basisdruck auf die Hydraulikflüssigkeit im Übertragungselement durch eine zentral im Primärkolben 121 angeordnete Druckfeder 128 erzeugt wird. Hierzu ist der Primärkolben 121 topfförmig ausgebildet, wobei zwischen der Kopfplatte 10 und einer Bodenfläche des Primärkolbens 121 ein zusätzlicher dritter Speicherkammerbereich 243 ausgebildet ist. Der Primärkolben 121 ist dabei so angeordnet, dass er sich mit seiner Bodenfläche in den ersten Bohrungsabschnitt 31 erstreckt. Die Seitenwände des Primärkolbens 21 dagegen befinden sich im Wesentlichen im Gehäusebereich 34, in dem die

Antriebseinheit angeordnet ist.

[0041] Die im dritten Speicherkammerbereich 243 angeordnete Druckfeder 128 ist zwischen der Kopfplatte 10 der Antriebseinheit und einer Druckplatte 127, die sich im dritten Speicherkammerbereich 243 vorgesehen ist, eingeschweißt. Die Druckfeder 128 wird dabei zum dritten Speicherkammerbereich 243 hin von einem Metallbalg 125 geschützt.

[0042] Der zweite Speicherkammerbereich 242 ist zwischen der Kopfplatte 10 des piezoelektrischen Multilayeraktors 8 und der Gehäusestufe 35 um die Wandung des Primärkolbens 121 herum ausgebildet. Dieser zweite Speicherkammerbereich 242 ist über eine Verbindungsbohrung 136 mit dem dritten Speicherkammerbereich 243 im Primärkolben 121 verbunden. Die Funktionsweise des in Figur 3 gezeigten Übertragungselements entspricht dem in Figur 1 dargestellten Übertragungselement. Durch das Vorsehen einer innenliegenden Druckfeder 128 kann jedoch ein höher Basisdruck sowie eine ggf. kompaktere Bauweise des Übertragungselements erreicht werden.

[0043] Anstelle der innenliegenden Druckfeder 128 kann das vom Metallbalg 125 und der Kopfplatte 10 begrenzte gasdichte Volumen auch mit einem Druckgas beaufschlagt werden, so dass anstelle der mechanischen Druckfeder 128 eine Gasdruckfeder für die Aufrechterhaltung des Grunddruckes in den Speicherkammerbereichen 241, 242, 243 sorgt.

[0044] Die in der vorstehenden Beschreibung, den Zeichnungen und den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen in Bedeutung sein.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Übertragen einer Bewegung eines Aktors (8) auf ein Stellglied (3) mit einem Übertragungselement, dass eine Wirkverbindung zwischen dem Aktor (8) und dem Stellglied (3) herstellt und eine Hydraulikkammer (22) und eine Speicherkammer (24) festlegt, die mit einer Hydraulikflüssigkeit gefüllt sind und über mindestens einen Drosselspalt (36, 37) miteinander in Verbindung stehen,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Übertragungselement ein erstes und ein zweites Kolbenelement (21, 23; 121) aufweist, wobei das erste Kolbenelement (21; 121) fest mit dem Aktor (8) und das zweite Kolbenelement (23) fest mit dem Stellglied (3) verbunden ist, wobei zwischen dem ersten Kolbenelement (21; 121) und dem zweiten Kolbenelement (23) die Hydraulikkammer (22) ausgebildet ist und wobei die Speicherkammer (24) einen druckbelasteten Speicherkammerbereich



(242, 243) umfasst, dessen Bereichsgrenzen elastisch ausgebildet sind.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der druckbeaufschlagte Speicherkammerbereich (242, 243) durch eine Federbalganordnung (25, 26; 125) begrenzt wird. 5
3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der druckbeaufschlagte Speicherkammerbereich (242, 243) von einer Druckfeder (28) über eine Druckplatte (27; 127) beaufschlagt wird. 10
4. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der druckbeaufschlagte Speicherkammerbereich (242, 243) von einer Gasdruckfeder beaufschlagt wird. 15
5. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Kolbenelement (21; 121) und das zweite Kolbenelement (23) in einem zweistufig ausgebildeten Innenbohrungsbereich eines Gehäuses (1) angeordnet sind, wobei das erste Kolbenelement (21; 121) und das zweite Kolbenelement (23) so voreinander beabstandet sind, dass zwischen den sich gegenüberliegenden Stirnflächen im Bereich des Übergangs von einem ersten Bohrungsabschnitt (31) zu einem zweiten Bohrungsabschnitt (32) die Hydraulikkammer (22) ausgebildet ist, wobei der Hub des ersten Kolbenelements (21; 121) entsprechend dem Verhältnis der Stirnflächen auf das zweite Kolbenelement (23) übersetzt wird. 20
6. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Speicherkammer (24) zweiteilig ausgebildet ist, mit einem ersten Speicherkammerbereich (241), der durch die untere Stirnfläche des zweiten Kolbenelements (23) und eine Durchführung (14, 15, 16) an dem Stellglied (3) begrenzt wird, und einem zweiten Speicherkammerbereich (242), der in einem den Aktor aufnehmenden Gehäusebereich (34) angeordnet und über eine Verbindungsbohrung (223) an den ersten Speicherkammerbereich (241) angeschlossen ist, wobei der zweite Speicherkammerbereich (242) durch zwei konzentrisch zueinander angeordnete Federbälge (25, 26) und einem Druckring (27) begrenzt wird, auf dem eine Druckfeder (28) lastet. 25
7. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Kolbenelement (121) topfförmig ausgebildet und die Speicherkammer (24) dreiteilig ausgelegt ist, mit einem ersten Speicherkammerbereich (241), der von einer unteren Stirnfläche des zweiten Kolbenelements (23) und einer Durchführung (14, 15, 16) am Stellglied (3) be- 30

grenzt wird, einem zweiten Speicherkammerbereich (242), der in einem den Aktor (8) aufnehmenden Gehäusebereich (34) um das erste Kolbenelement (121) herum ausgebildet ist, und einem dritten Speicherkammerbereich (243), der im ersten Kolbenelement (121) ausgebildet ist, wobei der erste Speicherkammerbereich (241) mit dem zweiten Speicherkammerbereich (242) über eine erste Verbindungsbohrung (223) im Gehäuse (1) und der zweite Speicherkammerbereich (242) mit dem dritten Speicherkammerbereich (243) über eine zweite Verbindungsbohrung (136) im ersten Kolbenelement (121) verbunden sind und wobei im dritten Speicherkammerbereich (243) eine Druckfeder (128), die zwischen einer Kopfplatte (10) des Aktors (8) und einer Druckplatte (127) eingespannt ist und von einem Federbalg (125) begrenzt wird, oder eine Gasdruckfeder angeordnet ist.

8. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktor (8) ein piezoelektrischer Multilayeraktor ist, der von einem Federelement (9) vorgespannt wird, und dass das erste Kolbenelement (21; 121) fest an eine Kopfplatte (10) des Multilayeraktors (8) angebracht ist. 35
9. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Aktor nach dem elektrostriktiven oder magnetostriktiven Prinzip arbeitet. 40
10. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Federbälge (25, 26; 125) Metallbälge sind, die sich vorzugsweise aus Halbkreissegmenten mit jeweils dazwischen liegenden geraden Teilstücken zusammensetzen. 45
11. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Federbälge (25, 26; 125) aus einem elastomeren Werkstoff hergestellt sind. 50
12. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Hydraulikkammer (22) so ausgelegt ist, dass die Federkonstante der Hydraulikkammer (22) mindestens  $10^8$  N/m beträgt.



FIG 1

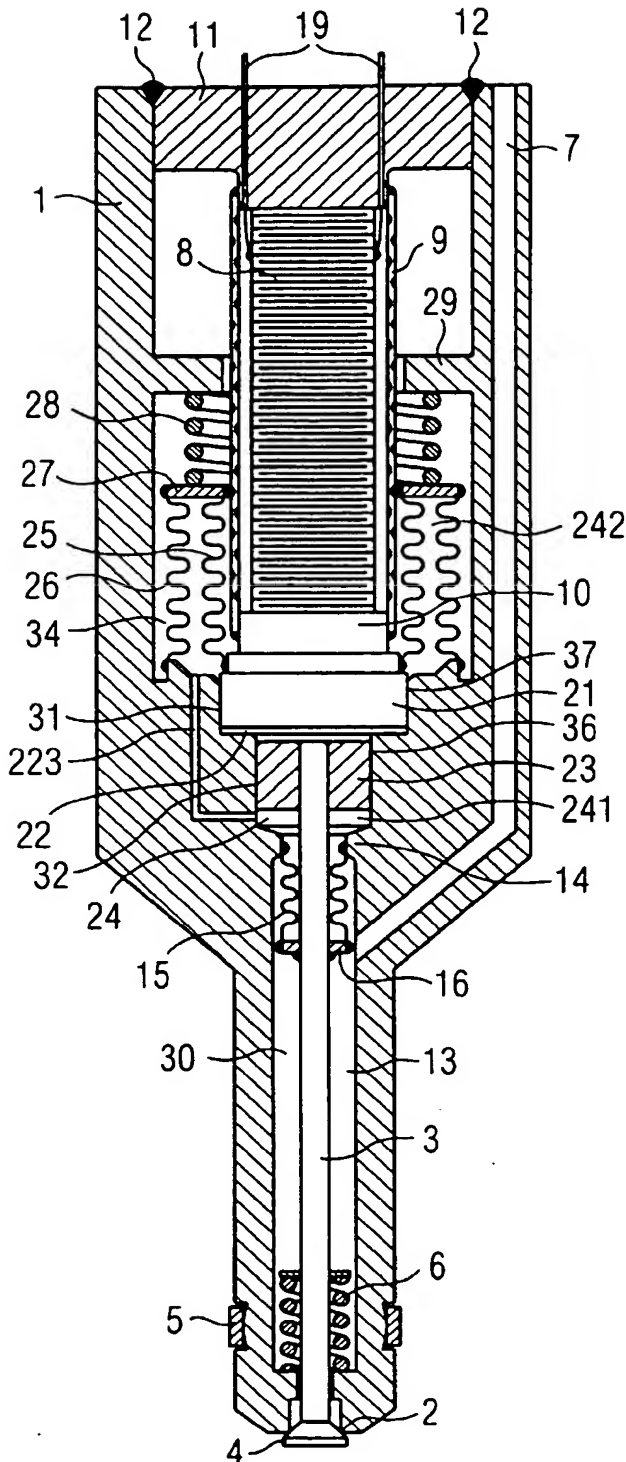


FIG 2

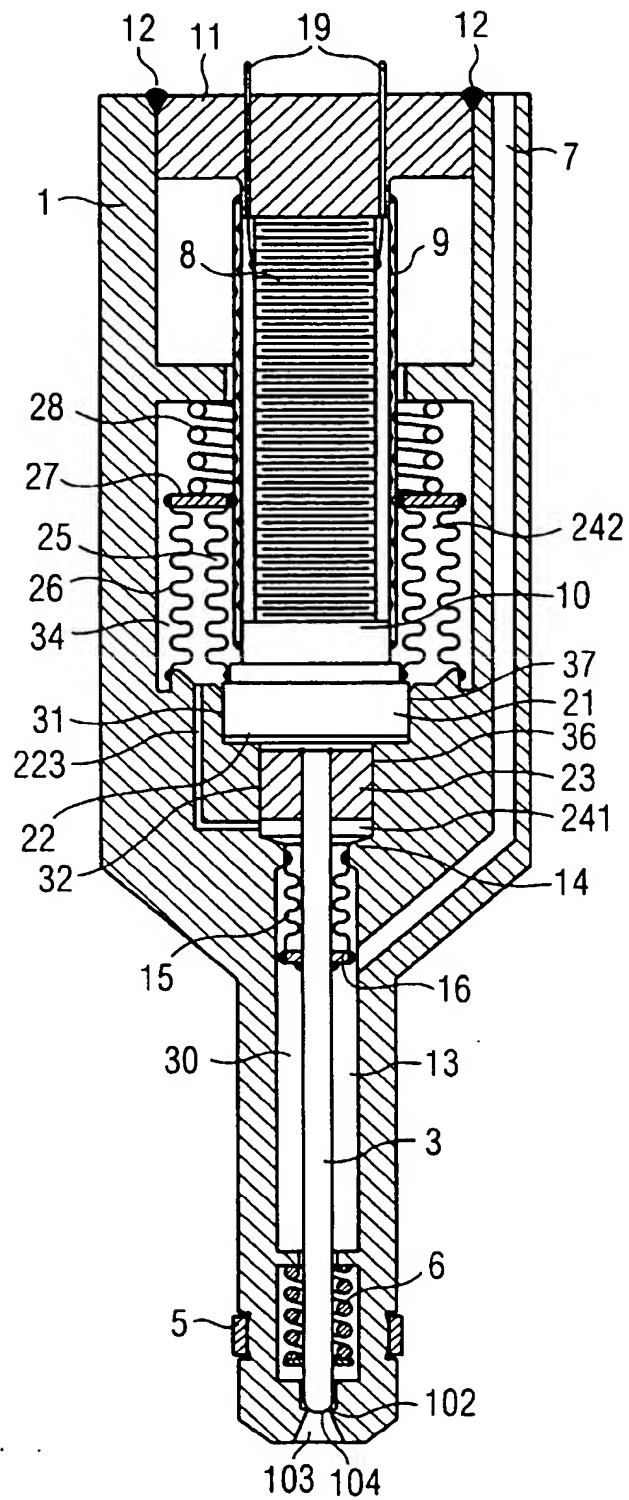


FIG 3

